



①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 101 31 249 A 1**

⑤1 Int. Cl.⁷:
H 01 L 21/20
H 01 L 21/58
H 01 L 21/84

②1 Aktenzeichen: 101 31 249.0
②2 Anmeldetag: 28. 6. 2001
④3 Offenlegungstag: 23. 5. 2002

Mit Einverständnis des Anmelders offengelegte Anmeldung gemäß § 31 Abs. 2 Ziffer 1 PatG

⑦1 Anmelder:
Wacker Siltronic Gesellschaft für
Halbleitermaterialien AG, 84489 Burghausen, DE

⑦4 Vertreter:
Rimböck, K., Dr., 81737 München

⑦2 Erfinder:
Murphy, Brian, Phys., 84347 Pfarrkirchen, DE;
Wahlich, Reinhold, 84529 Tittmoning, DE; Rüdiger,
Schmolke, Dr. Phys., 84489 Burghausen, DE;
Wilfried, Ammon von, Dr. Phys., Hochburg/Ach, AT;
Moreland, James, Dr. Phys., 84533 Haiming, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤4 Verfahren zur Herstellung eines Films oder einer Schicht aus halbleitendem Material

⑤7 Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung eines Films oder einer Schicht aus halbleitendem Material, umfassend folgende Schritte:

- a) Erzeugung von Strukturen aus sich periodisch wiederholenden Vertiefungen vorgegebener Geometrien auf der Oberfläche eines halbleitenden Materials,
- b) thermische Behandlung des oberflächenstrukturierten Materials, bis sich eine Schicht mit sich periodisch wiederholenden Hohlräumen unter einer geschlossenen Schicht an der Oberfläche des Materials gebildet hat,
- c) Trennung der geschlossenen Schicht an der Oberfläche entlang der Schicht von Hohlräumen vom Rest des halbleitenden Materials.

DE 101 31 249 A 1

DE 101 31 249 A 1

[0001] Gegenstand der Erfindung ist ein Verfahren zur Herstellung eines Films oder einer Schicht aus halbleitendem Material.

[0002] So genannte SOI-Scheiben ("silicon on insulator") haben eine Schichtstruktur, in der Regel bestehend aus einem Träger, beispielsweise einer Siliciumscheibe, einer nahe unter der Oberfläche vergrabenen Oxidschicht sowie einer dünnen Siliciumschicht auf der Oxidschicht. Diese Schichtstruktur hat bei der Herstellung von elektronischen Bauelementen (z. B. Speicher und Mikroprozessoren) gegenüber den herkömmlich verwendeten Siliciumscheiben wesentliche Vorteile:

Es wird eine bessere Charakteristik der elektronischen Funktionen, verbunden mit höheren Schaltgeschwindigkeiten und einem geringeren Leistungsverbrauch des Bauelements erreicht. Zudem sind auf der Basis von SOI-Scheiben hergestellte Bauelemente besser für den Betrieb bei niedrigeren Spannungen geeignet als herkömmliche Bauelemente.

[0003] Aus diesen Gründen wird bei zukünftigen Bauelemente-Generationen der Einsatz von SOI-Scheiben wesentlich zunehmen. Die Qualitätsanforderungen an die SOI-Scheiben sind hoch, insbesondere an die Schichtdicken-Uniformitäten und die Defektdichten in der dünnen Siliciumschicht und in der Oxidschicht. Hier unterscheiden sich auch die verschiedenen Herstellungsverfahren und Produkte nach dem Stand der Technik:

Beispielsweise wird beim sog. SIMOX-Prozess durch die Implantation von Sauerstoff-Ionen durch die Oberfläche einer Siliciumscheibe in einer definierten Tiefe, die durch die Energie der Sauerstoff-Ionen bestimmt ist, eine Schicht mit hohem Sauerstoffgehalt erzeugt (Izumi et al., Electron lett. 14 (18) (1978), p. 593). Diese Schicht wird in einer nachfolgenden Temperaturbehandlung in eine Siliciumoxidschicht umgewandelt, die die darüber liegende dünne Siliciumschicht von dem darunter liegenden Rest der Siliciumscheibe trennt. Durch die Implantation der Sauerstoff-Ionen werden jedoch Kristallfehler ("Damage") in der dünnen Siliciumschicht erzeugt, die sich bei einer nachfolgenden Herstellung von elektronischen Bauelementen auf der SOI-Scheibe nachteilig auswirken.

[0004] Meist werden SOI-Scheiben allerdings durch den Transfer einer dünnen Siliciumschicht von einer ersten Scheibe, der Substratscheibe, auf eine zweite Scheibe, die Trägerscheibe, hergestellt. In der Regel bestehen beide Scheiben aus Silicium. Die dünne Siliciumschicht wird beispielsweise über eine isolierende Siliciumoxidschicht mit der Trägerscheibe verbunden. Es sind mehrere Verfahren bekannt, die für den Transfer dünner Siliciumschichten von einer ersten Scheibe auf eine zweite Scheibe und damit zur Herstellung einer SOI-Scheibe eingesetzt werden können:

[0005] Im so genannten SMARTCut-Prozess (US 5,374,564; Weldon et al., J. Vac. Sci. Technol., B 15(4) (1997), pp. 1065-1073) wird die Trennschicht mittels einer Wasserstoff-Implantation hergestellt, nach dem Verbinden ("Bonding") der zwei Scheiben erfolgt die Trennung ("Splitting") mittels thermischer Behandlung. Dabei entsteht eine relativ raue Oberfläche mit vielen Defekten, die anschließend durch Politur oder thermische Behandlung ("Anneal") geglättet werden muss. Es entstehen dabei auch nicht reparable Defekte (Löcher), sog. HF-defects, in der dünnen oberen Siliciumschicht mit einer Dichte von $0,1/\text{cm}^2$ – $0,5/\text{cm}^2$. Weiterhin entstehen durch die Implantation, die verwendete Trennschicht und das Trennverfahren Defekte in der oberen Siliciumschicht, die nach einem Secco-Ätzschritt sichtbar werden ("Secco etch defects") in der Größenordnung von $1\text{e}2/\text{cm}^2$ ~ $1\text{e}4/\text{cm}^2$ (J. G. Park,

"Nature of Surface Defects in SOI wafers: SIMOX vs Bonded SOI", JSPS, 3. International Symposium on Advanced Science and Technology of Silicon Material, 2000, Kona, USA).

[0006] Im so genannten ELTRAN-Prozess (US 5,854,123; Yonehara et al., Electrochem. Soc. Proc. 99-3 (1999) pp. 111-116) wird die Trennschicht mittels eines anodischen Ätzverfahrens hergestellt, wobei eine poröse Oberflächenschicht entsteht. Diese bildet die Trennschicht. Anschließend wird auf dieser porösen Schicht eine epitaktische Schicht abgeschieden, die die spätere dünne Siliciumschicht bildet. Die Trennung erfolgt thermisch oder mechanisch, wobei sich hier wiederum Defekte in der Oberfläche sowie in der oberen Siliciumschicht bilden. Des weiteren kann die epitaktische Schicht nicht vollkommen störungsfrei auf der porösen Oberfläche aufwachsen. Die HF-Defektdichte (Löcher in der dünnen Siliciumschicht) beträgt $0,1/\text{cm}^2$ – $0,3/\text{cm}^2$, die Dichte der Secco etch defects liegt bei $5\text{e}2/\text{cm}^2$ – $1\text{e}5/\text{cm}^2$ je nach Schichtdicke der Siliciumschicht. Die Oberflächenrauigkeit nach dem Splitting ist hoch mit 5 nm rms (scanning area $1\text{ }\mu\text{m} \times 1\text{ }\mu\text{m}$) und erfordert nachgeschaltete Glättungsverfahren (Sakaguchi et al., Solid State Technology 43 (6) (2000) pp. 88-92).

[0007] Ein weiteres Verfahren ist der so genannte Nanocleave-Prozess der Fa. SiGen, USA (Current et al., European Semiconductor, 22(2) (2000) pp. 25-27). In diesem Verfahren ist ein zusätzlicher Glättungsschritt nach der Trennung notwendig, um Rauigkeitswerte unter 0,2 nm rms zu erzeugen (Thilderkqvist et al., IEEE SOI Symposium, 2000, Wakefield, USA).

[0008] Es werden daher aufwändige Nachbehandlungsschritte durchgeführt, um die genannten Nachteile zu kompensieren. Beispielsweise wird gemäß der EP 0 905 767 die SOI-Scheibe durch ein Gasphasen-Ätzverfahren von der durch die Spaltung der Siliciumscheibe entlang der Schicht der Wasserstoff-Blasen erzeugten Defektschicht befreit. Dieses Verfahren erlaubt gleichzeitig eine eventuell gewünschte Dickenreduktion der Siliciumschicht. Die gleiche Wirkung wird durch eine thermische Oxidation der Silicium-Oberfläche und anschließende reduktive Entfernung des Siliciumoxids, wie in EP 1 045 448 beschrieben, erzielt. Möglich ist auch eine Temperaturbehandlung der SOI-Scheibe in einer wasserstoffhaltigen Atmosphäre, um die Oberfläche der dünnen Siliciumschicht zu glätten und Kristalldefekte auszuheilen (EP 1 045 448).

[0009] Der Erfindung liegt somit die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur Herstellung eines Films oder einer Schicht aus halbleitendem Material, der bzw. die weitgehend frei von Kristalldefekten ist und eine glatte Oberfläche aufweist, bereitzustellen.

[0010] Die Erfindung bezieht sich daher auf ein Verfahren zur Herstellung eines Films oder einer Schicht aus halbleitendem Material, umfassend folgende Schritte:

- Erzeugung von Strukturen aus sich periodisch wiederholenden Vertiefungen vorgegebener Geometrien auf der Oberfläche eines halbleitenden Materials,
- thermische Behandlung des oberflächenstrukturierten Materials, bis sich eine Schicht mit sich periodisch wiederholenden Hohlräumen unter einer geschlossenen Schicht an der Oberfläche des Materials gebildet hat,
- Trennung der geschlossenen Schicht an der Oberfläche entlang der Schicht von Hohlräumen vom Rest des halbleitenden Materials.

[0011] Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren werden stark kristallschädigende Prozesse wie Ionenimplantationen

oder Ultrahochtemperaturschritte sowie grobe Schäden bei den Trennverfahren vermieden. Es ergeben sich dadurch neue, verbesserte Produkteigenschaften hinsichtlich der Defekte in der oberen Siliciumschicht.

[0012] Beim erfindungsgemäßen Verfahren sind keine Schichten nötig, die implantierte Ionen, z. B. Wasserstoff- oder Sauerstoff-Ionen enthalten. Die Trennung an der Schicht der Hohlräume erfolgt spannungsfrei.

[0013] Durch das schonende Trennverfahren werden in der Schicht aus halbleitendem Material keine oder nur geringe Kristallschäden erzeugt. Dadurch, dass die Trennung der Schicht vom Rest des halbleitenden Materials entlang einer Schicht erfolgt, die zum großen Teil aus Hohlräumen mit nur wenigen Verbindungen zwischen der Oberflächenschicht und dem Rest des halbleitenden Materials erfolgt, können im Vergleich zum Stand der Technik glattere Oberflächen erzeugt werden. Es ergeben sich dadurch neue, verbesserte Produkteigenschaften hinsichtlich der Defekte in die obere Siliciumschicht. Die glatteren Oberflächen zeigen gegenüber dem Stand der Technik direkt nach dem Trennen einen geringeren Rauheitswert von 0,2 nm rms sowie deutlich verringerte Defektdichten von $< 0,1/\text{cm}^2$ für HF-Defekte und $< 10/\text{cm}^2$ für Secco etch defects.

[0014] Fig. 1 zeigt schematisch den Ablauf des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Herstellung eines Films oder einer Schicht aus halbleitendem Material.

[0015] Fig. 2 zeigt den Ablauf einer bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens, bei dem der Film bzw. die Schicht auf ein Trägermaterial transferiert wird.

[0016] Im Folgenden wird anhand der Figuren das erfindungsgemäße Verfahren zur Herstellung eines Films oder einer Schicht eines halbleitenden Materials zusammen mit bevorzugten Ausführungsformen beschrieben. Das Herstellungsverfahren ist dargestellt als Kombination von Einzelschritten a) bis c), wobei jeder Einzelschritt fallweise Variationsmöglichkeiten beinhalten kann.

[0017] Im ersten Schritt a) werden auf der Oberfläche, ggf. auch auf einem Teil der Oberfläche des halbleitenden Ausgangsmaterials (Substrats) 1 Strukturen aus sich periodisch wiederholenden Vertiefungen 2 vorgegebener Geometrien erzeugt.

[0018] Das Verfahren kann auf beliebige halbleitende Materialien angewendet werden, bevorzugt jedoch auf Silicium-Germanium, Galliumarsenid, Siliciumcarbid und Indiumphosphid, besonders bevorzugt auf Silicium. Da Silicium bei der Herstellung von Halbleiterbauelementen von herausragender Bedeutung ist, werden die Vorteile und die bevorzugten Ausführungsformen des erfindungsgemäßen Verfahrens an Hand von Silicium erläutert, auch wenn die Anwendung nicht auf Silicium beschränkt ist.

[0019] Das Substrat kann aus verschiedenen Materialspezifikationen bestehen, wobei besonders die Ausführung des oberflächennahen Bereichs einen wesentlichen Einfluss auf die spätere Qualität der halbleitenden Schicht hat, da aus der Oberflächenschicht des Substrats der Film oder die Schicht aus halbleitendem Material entsteht.

[0020] Bevorzugt ist der Einsatz von scheibenförmigen Substraten mit ebenen Oberflächen. Besonders bevorzugt werden einkristalline Siliciumscheiben eingesetzt: CZ- oder FZ-Scheiben (d. h. Scheiben aus Einkristallen, die nach dem Czochralski-Verfahren bzw. dem Floating-Zone-Verfahren hergestellt wurden) mit beliebigen Dotierungen und Co-Dotierungen (beispielsweise stickstoffdotierte Scheiben), mit einer epitaktischen Schicht versehene Scheiben, temperaturbehandelte Scheiben sowie Material ohne nennenswerte Leerstellen und interstitielle Konglomerate ("void free silicon" oder "perfect silicon") oder isotonenreines Silicium

(^{28}Si).

[0021] Neu ist, dass neben der bekannten Oberflächenqualität "poliert" und "doppelseitenpoliert (DSP)" auch Scheiben ohne Spiegelpolitur (nicht haze-frei), feingeschliffene Scheiben ("fine grinded") oder geätzte Scheiben eingesetzt werden können.

[0022] Die Erzeugung der Vertiefungen 2 in der oberflächennahen Schicht im Schritt a) erfolgt mit den bekannten Verfahren der Photolithographie, der Masken- und Belichtungstechnik, dem Trench-Ätzen mittels Ionenstrahlätztechnik, dem Plasmaätzen, mit Hilfe eines Lasers oder ähnlicher Verfahren (Buch: "Silicon processing for the VLSI Era", S. Wolf, ISBN 0-961672-16-1). Die Dimensionen dieser Vertiefungen ("Trenches") 2 werden dabei hinsichtlich Breite, Durchmesser, Tiefe, Form und Abstand genau vorgegeben. Möglich sind Löcher, Gräben oder andere regelmäßige oder unregelmäßige geometrische Formen.

[0023] Die geometrischen Abmessungen der Vertiefungen 2 werden so gewählt, dass bei der nachfolgenden Temperaturbehandlung die aus den Vertiefungen entstehenden individuellen Hohlräume zu größeren Hohlräumen 3 zusammenwachsen können. Weiterhin werden die geometrischen Abmessungen so gewählt, dass die im weiteren Prozessverlauf entstehende Schicht aus halbleitendem Material die gewünschte Dicke D erhält. Dazu werden bevorzugt für den Trenchradius $2 \cdot D/3$ bis $D/4$ (besonders bevorzugt $D/2$ bis $D/3$), für die Trenchtiefe $4 \cdot D$ bis D und den Trenchabstand D bis $3 \cdot D$ gewählt.

[0024] Die Vertiefungen auf der Substrat-Oberfläche werden in hoher Dichte auf einem Teilbereich der Oberfläche oder, bevorzugt, im Wesentlichen auf einer ganzen Fläche des Substrats erzeugt. Beispielsweise wird bei scheibenförmigen Substraten bevorzugt eine der beiden Flächen im Wesentlichen ganzflächig mit Vertiefungen versehen. Die Vertiefungen werden derart erzeugt, dass Strukturen aus sich periodisch wiederholenden Vertiefungen vorgegebener Geometrien entstehen. Bevorzugt werden die Vertiefungen an wenigen genau positionierten Stellen in größeren Abständen erzeugt, so dass nach Schritt b) noch Stege 3a im Hohlraum 3 verbleiben.

[0025] Im nachfolgenden Schritt b) wird das Substrat einer Temperaturbehandlung unterzogen, die zur Folge hat, dass sich die Vertiefungen 2 auf Grund der Oberflächenbeweglichkeit der Atome oberflächlich schließen, so dass eine geschlossene Oberfläche 4 entsteht, und sich gleichzeitig Hohlräume 3 unterhalb der Oberfläche bilden. Die Schicht 4 oberhalb der Hohlräume bildet im weiteren Verfahren schließlich die Schicht oder den Film aus halbleitendem Material.

[0026] Die den Schritten a) und b) zu Grunde liegende Technik ist in der Publikation Tsungshima, Y., Sato, T. und Mizushima, I., Electrochem. Soc. Proc. 17 (2000), pp. 532-545, beschrieben.

[0027] Schritt b) wird vorzugsweise so gesteuert, dass sich dort, wo in Schritt a) Vertiefungen erzeugt wurden, ein durchgehender Hohlraum bildet, wobei der Zusammenhalt zwischen der Schicht 4 oberhalb der Hohlräume 3 und dem Rest des Substrats 1 durch absichtlich eingebaute Stege 3a in vorgegebenem Abstand gewährleistet wird. Die Stege entstehen an den Stellen, an denen in Schritt a) größere Abstände zwischen den Vertiefungen eingehalten wurden.

[0028] Falls die Vertiefungen in Schritt a) ohne größere Abstände an bestimmten Stellen erzeugt wurden, wird die Temperaturbehandlung in Schritt b) derart gesteuert, dass die Oberfläche geschlossen ist, aber die aus den einzelnen Vertiefungen entstehenden individuellen Hohlräume noch nicht zusammenwachsen (nicht in den Figuren dargestellt).

[0029] Die Temperaturbehandlung wird je nach Material

zwischen 200 und 1500°C durchgeführt, für 1 bis 100 Minuten, wobei Temperatur und Zeitdauer zur Steuerung des Prozesses im oben geschilderten Sinn eingesetzt werden. Die Temperaturbehandlung kann in allen Atmosphären erfolgen, die die Bildung einer Oxidschicht ("native oxide") auf der Oberfläche des halbleitenden Materials verhindern, vorzugsweise in reduzierenden Gasen und Gasgemischen oder inerten Gasen und Gasgemischen. Bevorzugt ist eine Atmosphäre, die Wasserstoff oder Argon oder Mischungen aus Wasserstoff und Argon enthält. Die Temperaturbehandlung kann bei Atmosphärendruck oder reduziertem Druck erfolgen. Die Prozessbedingungen werden so gewählt, dass eine möglichst hohe Oberflächenbeweglichkeit der Atome des halbleitenden Materials erreicht werden kann.

[0030] Wird Silicium als Substrat verwendet, wird Schritt b) ausgeführt mit folgenden Einstellungen: Temperatur 700–1360°C, bevorzugt 1000–1200°C, besonders bevorzugt 1050–1150°C, Druck 1–100 Torr, bevorzugt 1–50 Torr, besonders bevorzugt 5–20 Torr, Dauer 10 Sekunden–6 Stunden, vorzugsweise 5 Minuten bis 60 Minuten. Die Temperaturbehandlung wird in einer nicht oxidierenden Atmosphäre durchgeführt, die vorzugsweise Wasserstoff oder Argon oder ein Gemisch der beiden Gase enthält.

[0031] Bevorzugt werden die Prozessbedingungen in Schritt b) so gewählt, dass gleichzeitig das Ausheilen von COPs ("crystal originated pits", Leerstellenagglomerate) im Substrat und insbesondere in dem Film bzw. in der Schicht 4 oberhalb der Hohlräume 3 erfolgt. Im Fall von Silicium sind dafür Temperaturen über 1000°C notwendig, wie in der EP 0 829 559 A1 oder der US 5,935,320 beschrieben.

[0032] Zusätzlich kann in diesem Schritt die Oberflächenbeweglichkeit der Atome des halbleitenden Materials durch sanften Beschuss mit Ionen niedriger Energie ("low-energy bombardment") erhöht werden, was zum schnelleren Schließen der Vertiefungen führt, oder niedrigere Temperaturen oder kürzere Zeiten ermöglicht.

[0033] Die zu erzeugende Schicht bzw. der Film 4 aus halbleitendem Material ist auf Grund ihrer bzw. seiner geringen Dicke mechanisch wenig stabil. Bevorzugt wird daher die Oberfläche des Substrats, unter der die Schicht von Hohlräumen erzeugt wurde, mit der Oberfläche eines Trägermaterials 5 verbunden ("Bonding"), wie in Fig. 2 schematisch dargestellt. Das Trägermaterial ist ein elektrisch isolierender Festkörper oder trägt zumindest eine elektrisch isolierende Schicht 6 an der Oberfläche. Als Trägermaterial dient bevorzugt ein Material aus der Gruppe Siliciumcarbid, Silicium-Germanium, Galliumarsenid, Quarz, Plastik, Glas und Keramik. Besonders bevorzugt ist Silicium als Trägermaterial. Im Fall des Siliciums ist eine elektrisch isolierende Schicht aus Siliciumoxid an der Oberfläche besonders bevorzugt. Bevorzugt ist auch, dass die Flächen von Substrat und Trägermaterial, die miteinander verbunden werden, die selben geometrischen Abmessungen haben. Ebenfalls bevorzugt ist eine scheibenförmige Gestalt des Trägermaterials.

[0034] Das Trägermaterial kann bereits einen eingebauten so genannten "inernen Getter" enthalten, der im Bauelementprozess eingeschleppte Metallverunreinigungen bindet und von dem aktiven Bauelementebereich fernhält.

[0035] Die Verbindung des halbleitenden Materials 1 und des Trägermaterials 5 erfolgt mit den nach dem Stand der Technik bekannten Verfahren (Q.-Y. Tong and U. Gösele: "Semiconductor wafer processing", ISBN 0-471-57481-3).

[0036] Im letzten Schritt c) erfolgt die Trennung der Schicht bzw. des Films 4 vom Rest des Substrats 1, und zwar entlang des eingebauten Hohlraums 3. Aufgrund dieses Hohlraums geschieht die Trennung sehr materialschonend im Vergleich zu anderen Verfahren. Das Trennen erfolgt

vorzugsweise thermisch, wobei idealerweise die Hohlräume zusammenwachsen und die Trennung besonders schonend erfolgt. Insbesondere im Fall des thermischen Spaltens dürfen die aus den Trenches entstandenen, individuellen kleinen Hohlräume beim Bonding noch nicht vollständig zusammengewachsen sein, um die mechanische Stabilität der Substratscheibe für diesen Vorgang zu gewährleisten. Erst in einem thermischen Prozess nach oder während des Bonding-Prozesses dürfen die individuellen, kleineren Hohlräume zu bestenfalls einem großen verschmelzen. In diesem Zusammenhang ist zu beachten, dass die Oberfläche der Substratscheibe für das Bonding gemäß der bisherigen Beschreibung gegebenenfalls noch nicht ausreichend geglättet ist, was sich nachteilig auf das Bonding auswirken kann. Einer möglichen Oberflächenmodulation aufgrund der darunter verborgenen kleineren individuellen Hohlräume kann entgegen gewirkt werden, indem auf der Substratscheibe nach dem Verschließen der Trenches eine dünne epitaktische Schicht entweder integriert in die Temperaturbehandlung zur Bildung der individuellen, kleineren Hohlräume oder im Anschluss daran abgeschieden wird. Es ist bekannt, dass eine epitaktische Schicht einer Dicke von < 0.5 µm kleine Oberflächeninhomogenitäten effizient ausgleicht, sofern die Abscheidetemperatur im Bereich der für die Hohlraum-bildung geeigneten Temperaturen gewählt wird (T. Berarda, P. Mertens, M. M. Heyns, R. Schmolke, Jpn. J. Appl. Phys. 39 (2000) L841; R. Schmolke, M. Blietz, R. Schauer, D. Zemke, H. Oelkrug, W. v. Ammon, U. Lambert, D. Gräf, The Electrochem. Soc. PV2000-17 (2000) 3). Eine aus dieser Prozesskombination resultierende Siliciumschicht, bei der man gegebenenfalls aus einer Gesamtkostenbetrachtung eine Überschreitung der Zieldicke zulässt, kann mit einer geeigneten Nachbehandlung, wie sie im weiteren Kontext beschrieben wird, reproduzierbar und kontrolliert verringert werden.

[0037] Es sind jedoch auch andere Verfahren bekannt, die verwendet werden können, um eine Trennung entlang der verschmolzenen Hohlräume zu ermöglichen. Unter den mechanischen Verfahren sind die Trennung durch Fluidstrahl (Sakaguchi et al., Solid State Technology 43 (6) (2000), pp. 88–92), die Anwendung von Scherkräften (Current et al., "Ultrashallow junctions or ultrathin SOI?", Solid State Technology, September 2000) und akustische Trennmethoden (unter Einsatz von Ultra- oder Megashall) zu nennen. Auch eine chemische Spaltung durch Ätzbtrag der zwischen den Hohlräumen verbliebenen Stege durch geeignete Gase oder Flüssigkeiten (z. B. Flußsäure oder Mischungen aus Salpetersäure und Flußsäure) ist möglich.

[0038] Bevorzugt ist auch eine Kombination des Schritts c) mit der Aufbringung einer epitaktischen Schicht auf der Oberfläche des halbleitenden Materials in einem Epitaxie-Reaktor, so dass die gewünschte Zieldicke der Schicht oder des Films eingestellt werden kann.

[0039] Besonders vorteilhaft erweist sich das erfindungsgemäße Verfahren bei der Herstellung von SOI-Strukturen. Es ermöglicht beispielsweise den Einsatz von Siliciumscheiben als Substrat, die aus tiegelgezogenen Einkristallen hergestellt wurden (CZ-Scheiben). Diese führen nach dem Stand der Technik dazu, dass die COPs, die die Siliciumscheiben enthalten, auch in der daraus hergestellten dünnen Siliciumschicht einer SOI-Scheibe zu finden sind, was in der Bauelementherstellung zu Problemen führt. Aus diesem Grund werden nach dem Stand der Technik zweckmäßigerweise aus nach dem "Floating-Zone"-Verfahren tiegelfrei gezogenen Einkristallen hergestellte Siliciumscheiben (FZ-Scheiben) als Substratscheiben eingesetzt. Falls dies nicht geschieht, müssen die COPs in der dünnen Siliciumschicht nach der Herstellung der SOI-Scheibe durch eine thermi-

sche Behandlung, beispielsweise in einer Wasserstoffatmosphäre, ausgeheilt werden. Im Gegensatz dazu können beim erfindungsgemäßen Verfahren auch CZ-Scheiben problemlos als Substratscheiben verwendet werden, da beim thermischen Schließen der Oberfläche in Schritt b) gleichzeitig die COPs ausgeheilt werden können, was besonders bevorzugt ist.

[0040] Ein weiterer Vorteil des erfindungsgemäßen Verfahrens besteht darin, dass durch eine geeignete Anordnung und Form der in Schritt b) erzeugten Vertiefungen auch SOI-Scheiben mit ultradünnen Siliciumschichten mit einer Dicke von 50 nm oder weniger hergestellt werden können.

[0041] Durch die weitgehende Defektfreiheit und die hohe Oberflächenqualität der dünnen Siliciumschicht können aufwändige Nachbearbeitungsschritte reduziert oder vollständig eingespart werden, was zu einer erheblichen Kostensenkung bei der Herstellung der SOI-Scheiben führt.

[0042] Nach der Herstellung der SOI-Scheibe kann, wenn nötig, die Dicke der Siliciumschicht 4a eingestellt, d. h. erhöht oder erniedrigt werden. Zur Erhöhung der Schichtdicke kann beispielsweise eine epitaktische Siliciumschicht abgeschieden werden. Eine Verringerung der Schichtdicke ist mit den bekannten Verfahren der Gasphasenätze, der Oberflächenoxidation mit anschließender reduktiver Entfernung der Siliciumoxidschicht oder einer Politur möglich.

[0043] Ebenso kann nachfolgend, wenn nötig, die Rauigkeit der Oberfläche reduziert werden. Hierzu kann entweder eine Politur oder eine erneute thermische Behandlung erfolgen. Diese erfolgt in einer reduzierenden oder inerten Atmosphäre, die vorzugsweise Wasserstoff oder Argon oder eine Mischung von Wasserstoff und Argon enthält, bei Atmosphärendruck oder reduziertem Druck, im Temperaturbereich zwischen 1000 und 1250°C für 10 Sekunden bis 60 Minuten in einem Batch-Ofen oder Lampenofen ("rapid thermal annealer", RTA). Batch-Öfen sind Vertikalöfen oder Horizontalöfen mit Booten für 50–250 Siliciumscheiben pro Fahrt. RTA sind Lampenöfen zum Anneal jeweils einer Scheibe pro Fahrt im "cassette to cassette" Betrieb.

[0044] Besonders vorteilhafte Eigenschaften der SOI-Scheibe können durch folgende bevorzugte Ausführungsformen des erfindungsgemäßen Verfahrens erreicht werden: Beim Einsatz einer FZ-Scheibe als Substratscheibe kann eine dünne Siliciumschicht der SOI-Scheibe erhalten werden, die nicht nur frei von voids, sondern auch BMD-frei ist. BMDs (bulk-micro-defects) sind Sauerstoffpräzipitate, voids sind Konglomerate von Kristallfehlern.

[0045] Wird als Substratscheibe eine hoch stickstoffdotierte CZ-Scheibe verwendet, kann eine, verglichen mit herkömmlichen CZ-Scheiben, höhere Resistenz gegen Gleitungen und Versetzungsbildung erreicht werden. Hochstickstoffdotierte CZ-Scheiben sind CZ-Scheiben mit einem Stickstoffgehalt von 1×10^{14} – $5 \times 10^{15}/\text{cm}^3$. Hoch stickstoffdotierte Scheiben zeigen gegenüber CZ-Scheiben ohne Stickstoff eine deutlich erhöhte Resistenz gegenüber thermisch induzierten Gleitungen und Versetzungen und zeigen höhere BMD-Dichten (Graef et al. ECS PV 2000-17, pp. 319–330; Ammon et al. ECS PV 94-10 pp. 136; Koji et al. ECS PV 2000-17, pp. 164–179).

[0046] Eine weitere Möglichkeit ist, ein anderes Trägermaterial als monokristallines Silicium zu verwenden, z. B. polykristallines Silicium, Glas oder Keramik.

[0047] Besonders vorteilhaft ist das erfindungsgemäße Verfahren auch für die Erzeugung von Strukturen, die aus mehreren Schichten oder Filmen bestehen, anzuwenden. Zu diesem Zweck wird das Verfahren mindestens zwei mal hintereinander ausgeführt, wobei nach dem ersten Durchgang das Trägermaterial mit der darauf befindlichen ersten Schicht aus halbleitendem Material erneut als Trägermate-

rial verwendet wird, so dass auf die erste Schicht eine oder mehrere weitere Schichten aufgebracht werden.

Patentsprüche

1. Verfahren zur Herstellung eines Films oder einer Schicht aus halbleitendem Material, umfassend folgende Schritte:

a) Erzeugung von Strukturen aus sich periodisch wiederholenden Vertiefungen vorgegebener Geometrien auf der Oberfläche eines halbleitenden Materials,

b) thermische Behandlung des oberflächenstrukturierten Materials, bis sich eine Schicht mit sich periodisch wiederholenden Hohlräumen unter einer geschlossenen Schicht an der Oberfläche des Materials gebildet hat,

c) Trennung der geschlossenen Schicht an der Oberfläche entlang der Schicht von Hohlräumen vom Rest des halbleitenden Materials.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das halbleitende Material aus einer Gruppe ausgewählt wird, die Silicium, Silicium-Germanium, Galliumarsenid, Siliciumcarbid und Indiumphosphid umfasst.

3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass das halbleitende Material Silicium ist.

4. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass das halbleitende Material mit Fremdstoffen dotiert ist.

5. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass das halbleitende Material monokristallin ist.

6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass das Material aus tiegelgezogenen oder tiegelfrei gezogenen Einkristallen hergestellt wurde oder mit einer epitaktischen Schicht versehen ist.

7. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass das Silicium aus einer Gruppe ausgewählt wird, die CZ-Silicium, void-freies Silicium, mit einer epitaktischen Schicht versehenes Silicium und FZ-Silicium umfasst.

8. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Oberfläche des halbleitenden Materials vor der Erzeugung der Strukturen gemäß Schritt a) durch eine Behandlung vorbereitet wird, die ausgewählt ist aus der Gruppe Feinschleifen, Ätzen, Polieren, Temperaturbehandlung oder Abscheiden homo- oder heteroepitaktischer Schichten.

9. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Erzeugung von Strukturen gemäß Schritt a) durch Photolithographie, Masken- und Belichtungstechnik, Ionenstrahlätzen, Plasmaätzen oder mit Hilfe eines Lasers erfolgt.

10. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Vertiefungen Löcher oder Gräben sind oder andere regelmäßige oder unregelmäßige Formen aufweisen.

11. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass die geometrischen Abmessungen der Vertiefungen so gewählt werden, dass bei der thermischen Behandlung gemäß Schritt b) die aus den Vertiefungen entstehenden individuellen Hohlräume zu größeren Hohlräumen verschmelzen können.

12. Verfahren nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass an wenigen vorgegebenen Stellen größere Abstände zwischen den Vertiefungen eingehalten

werden, so dass nach der thermischen Behandlung gemäß Schritt b) an den betreffenden Stellen Stege im Hohlraum verbleiben, die den Zusammenhalt der geschlossenen Schicht an der Oberfläche des Materials mit dem Rest des Materials gewährleisten.

13. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass die thermische Behandlung gemäß Schritt b) in einer Atmosphäre ausgeführt wird, die die Bildung einer Oxidschicht auf dem halbleitenden Material verhindert.

14. Verfahren nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass die Atmosphäre Wasserstoff und/oder Argon enthält.

15. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass die thermische Behandlung unter Atmosphärendruck oder reduziertem Druck stattfindet.

16. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 15, dadurch gekennzeichnet, dass die thermische Behandlung bei Temperaturen zwischen 200°C und 1500°C für eine Dauer von 1 bis 100 Minuten erfolgt.

17. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass die Bedingungen der thermischen Behandlung so gewählt werden, dass gleichzeitig ein Ausheilen der im halbleitenden Material enthaltenen COPs erfolgt.

18. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 17, dadurch gekennzeichnet, dass die thermische Behandlung mit einem Beschuss der Oberfläche mit Ionen niedriger Energie kombiniert wird.

19. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 18, dadurch gekennzeichnet, dass die Oberfläche, unter der gemäß den Schritten a) und b) eine Schicht von Hohlräumen erzeugt wurde, mit der Oberfläche eines Trägermaterials verbunden wird, bevor die Schicht gemäß Schritt c) vom Rest des halbleitenden Materials getrennt wird.

20. Verfahren nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, dass das Verfahren mindestens zwei mal hintereinander ausgeführt wird, derart, dass das Trägermaterial mit der darauf befindlichen Schicht aus halbleitendem Material erneut als Trägermaterial verwendet wird, so dass auf die erste Schicht eine oder mehrere weitere Schichten aufgebracht werden.

21. Verfahren nach Anspruch 19 oder Anspruch 20, dadurch gekennzeichnet, dass das Trägermaterial aus einer Gruppe ausgewählt wird, die Silicium, Silicium-Germanium, Siliciumcarbid, Galliumarsenid, Quarz, Plastik, Glas und Keramik umfasst.

22. Verfahren nach Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, dass das Trägermaterial Silicium ist.

23. Verfahren nach Anspruch 21 oder 22, dadurch gekennzeichnet, dass das Trägermaterial an der Oberfläche eine Oxidschicht trägt.

24. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 19 bis 23, dadurch gekennzeichnet, dass das Trägermaterial einen internen Getter enthält.

25. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 24, dadurch gekennzeichnet, dass die Trennung gemäß Schritt c) durch eine mechanische, chemische oder thermische Behandlung oder eine Kombination daraus erfolgt.

26. Verfahren nach Anspruch 25, dadurch gekennzeichnet, dass die thermische Behandlung zu einer Verschmelzung der in Schritt b) erzeugten Hohlräume und damit zur Trennung führt.

27. Verfahren nach Anspruch 26, dadurch gekennzeichnet,

zeichnet, dass die thermische Behandlung gleichzeitig mit der Abscheidung einer epitaktischen Schicht auf der Oberfläche des halbleitenden Materials erfolgt.

28. Verfahren nach Anspruch 25, dadurch gekennzeichnet, dass die mechanische Behandlung ausgewählt wird aus einer Gruppe bestehend aus Anwendung von Scherkräften, Behandlung mit einem Fluidstrahl und akustische Behandlung mit Ultra- oder Megashall.

29. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 28, dadurch gekennzeichnet, dass die Dicke der Schicht aus halbleitendem Material nach deren Herstellung durch eine Maßnahme verändert wird, die ausgewählt ist aus der Gruppe Polieren, Gasphasen- oder Flüssigätzen, Abscheidung epitaktischer Schichten sowie Oxidation und anschließende Reduktion der Oberfläche.

30. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 29, dadurch gekennzeichnet, dass die Oberfläche der Schicht aus halbleitendem Material nach deren Herstellung einer glättenden Behandlung durch Polieren oder thermische Behandlung unterworfen wird.

31. Verfahren nach Anspruch 30, dadurch gekennzeichnet, dass die thermische Behandlung in einer Atmosphäre ausgeführt wird, die Wasserstoff und/oder Argon enthält.

32. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 31, dadurch gekennzeichnet, dass das halbleitende Material in Form einer Scheibe vorliegt.

33. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 19 bis 32, dadurch gekennzeichnet, dass das Trägermaterial in Form einer Scheibe vorliegt.

34. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 19 bis 33, dadurch gekennzeichnet, dass die Flächen von Substrat und Trägermaterial, die miteinander verbunden werden, die selben geometrischen Abmessungen haben.

35. Film oder Schicht aus halbleitendem Material, dadurch gekennzeichnet, dass die Defektdichte in der dünnen Schicht bei den HF-Defekten kleiner als $0,1/\text{cm}^2$ und bei den Secco-Etch-Defekten kleiner als $10/\text{cm}^2$ ist.

36. SOI-Scheibe, bestehend aus einer Trägerscheibe und einer dünnen Siliciumschicht, dadurch gekennzeichnet, dass die Siliciumschicht nach dem Trennen eine geringere Oberflächenrauigkeit als 0,2 nm rms und eine Defektdichte bei den HF-Defekten kleiner als $0,1/\text{cm}^2$ und bei den Secco-Etch-Defekten kleiner als $10/\text{cm}^2$ aufweist.

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

Fig. 1

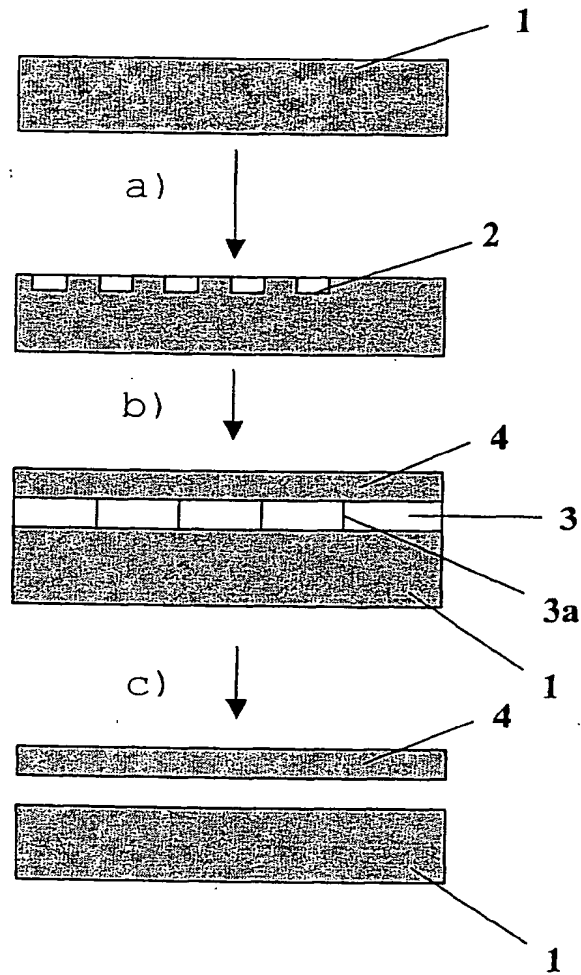


Fig. 2

